



**Anolan Yamilé Milanés Barrientos**

**Suporte de linguagens de programação para  
migração heterogênea de computações**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências da  
Computação do Departamento de Informática da PUC-Rio como  
requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Ciências  
da Computação

Orientador : Prof. Noemi Rodriguez  
Co-Orientador: Prof. Roberto Ierusalimschy

Rio de Janeiro  
julho de 2008



**Anolan Yamilé Milanés Barrientos**

**Suporte de linguagens de programação para  
migração heterogênea de computações**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação do Departamento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Ciências da Computação. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Noemi Rodriguez**

Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Roberto Ierusalimschy**

Co-Orientador

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Andre Luís de Medeiros Santos**

Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco

**Prof. Edward Hermann Haeusler**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. Marco Túlio de Oliveira Valente**

Instituto de Informática — PUC Minas

**Prof. Renato Fontoura de Gusmão Cerqueira**

Departamento de Informática — PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de julho de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

**Anolan Yamilé Milanés Barrientos**

Ficha Catalográfica

Barrientos, Anolan Yamilé Milanés

Suporte de linguagens de programação para migração heterogênea de computações / Anolan Yamilé Milanés Barrientos; orientador: Noemi Rodriguez; co-orientador: Roberto Ierusalimschy. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Informática, 2008.

v., 97 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.

Inclui referências bibliográficas.

1. Informática – Tese. 2. Migração e persistência de computações. 3. Reificação e instalação de computações. 4. Suporte das linguagens de programação. 5. Linguagem de programação Lua. I. Rodriguez, Noemi. II. Ierusalimschy, Roberto. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.

CDD: 004

A Paula y Sebastián

## Agradecimentos

A minha orientadora Noemi por ter sido uma guia e uma mão amiga durante todos esses anos (mesmo quando não fez economias de puxões de orelha quando necessário). Eu aprendi muito com ela, e espero aprender muito ainda.

A Roberto Ierusalimschy pela ajuda, mas sobretudo pela vontade de estudar que inspira o seu inesgotável caudal de conhecimento.

Aos meus pais, minha irmã e meus irmãos pelo apoio incondicional e por acreditar em mim.

Muitas outras pessoas contribuíram de alguma forma ao feliz término desse trabalho. Em particular quero agradecer a Silvana por revisar atentamente (de novo!) o rascunho da tese. Ao Renato Maia pela valiosa cooperação que melhorou em muito a qualidade do trabalho. E a Thiago e Sergina que me abriram as portas de sua casa durante as longas jornadas nômades da reta final.

Ao pessoal do departamento de Informática da PUC-Rio e do LNCC pelo apoio e a simpatia, e em especial ao professor Bruno Schulze pela ajuda e incentivo.

À professora Lucina Garcia pelo apoio sem o qual toda esta jornada não teria sido possível.

Ao CNPq, à PUC-Rio e ao LNCC, pela oportunidade e os auxílios concedidos.

E enfim, a todos os amigos, presentes e ausentes, que me ajudaram e que tentaram fazer de mim uma pessoa melhor.

## Resumo

Barrientos, Anolan Yamilé Milanés; Rodriguez, Noemi; Ierusalim-schy, Roberto. **Suporte de linguagens de programação para migração heterogênea de computações.** Rio de Janeiro, 2008. 97p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A migração heterogênea de computações se refere ao movimento de uma computação em execução entre plataformas diferentes. Trata-se de um procedimento difícil, que requer mecanismos de captura e restauração do estado de execução que permitam a identificação da estrutura da computação e seus dados. Estes mecanismos, quando oferecidos, aparecem tradicionalmente na forma de soluções ad-hoc que são difíceis de adaptar aos requisitos de diferentes aplicações. Esta tese discute a necessidade da presença de suporte para captura e restauração de execuções nas linguagens de programação. Este suporte deve ser genérico o suficiente para que sobre ele possam ser implementadas diferentes políticas de captura e restauração, tanto no contexto de migração como no de persistência heterogêneas. Este trabalho estende a linguagem de programação Lua com uma API que permite ao programador reificar estruturas internas da execução em entidades manipuláveis da linguagem, para estudar os mecanismos básicos que uma linguagem deveria oferecer para permitir a implementação de diferentes políticas.

## Palavras-chave

Migração e persistência de computações. Reificação e instalação de computações. Suporte das linguagens de programação. Linguagem de programação Lua.

## Abstract

Barrientos, Anolan Yamilé Milanés; Rodriguez, Noemi; Ierusalim-schy, Roberto. **Language support for the heterogeneous migration of computations**. Rio de Janeiro, 2008. 97p. PhD Thesis — Department of Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The heterogeneous migration of computations allows computations to move between different platforms. It is a difficult procedure, that demands mechanisms for the capture and restoration of the state of the execution allowing for the identification of the structure of the computation and its data. This support, when offered, commonly appears in the form of ad-hoc solutions which are difficult to tailor or adapt to different needs. This thesis discusses the need for this support in current programming languages. This support must allow the implementation of different applications that can profit from the ability of capturing and restoring computations heterogeneously, like migration and persistence. To experiment with this idea, we extend the Lua programming language with an API that allows the programmer to reify the internal structures of execution into manipulable language entities, to explore the basic mechanisms a language should provide in order to support the implementation of different policies.

## Keywords

Computation migration and persistence. Reification and installation of computations. Language level support. Lua programming language.

# Sumário

1	Introdução	10
1.1	A tese proposta	12
1.2	Organização do trabalho	14
2	Migração heterogênea forte de computações	15
2.1	Preliminares	15
2.2	Captura e restauração do estado de execução	18
2.3	Classificação do suporte das linguagens para captura e restauração de estado	24
3	Suporte das linguagens para captura e restauração de estado	30
3.1	Uma abordagem reflexiva para a captura e restauração	30
3.2	Reflexão computacional	32
3.3	API	34
3.4	Semântica operacional	35
4	Reificação em Lua	43
4.1	Breve introdução a Lua	43
4.2	Explorando a API	48
4.3	Biblioteca de facilitadores	67
5	Implementação	71
5.1	Internals	71
5.2	Implementação de LuaNua	73
5.3	Modificações ao interpretador Lua	77
5.4	Comentários finais	80
6	Considerações finais	81
6.1	Experiências da implementação em Lua	82
6.2	O que precisa uma linguagem para oferecer o suporte necessário para captura e restauração de estado das computações	84
6.3	Conclusão	84
	Referências Bibliográficas	87
A	Biblioteca de serialização	93



## Lista de figuras

2.1	Métodos de implementação de migração heterogênea forte de computações	24
2.2	Mecanismo nativo de retorno de subrotinas: captura de estado	25
2.3	Mecanismo nativo de retorno de subrotinas: restauração de estado	25
3.1	Sintaxe da linguagem	36
4.1	Fila de chamadas	61
4.2	Restauração da fila de chamadas usando dispatcher	62
4.3	Restauração da fila de chamadas usando CPS	63
4.4	Instrução Lua	66
5.1	Estado Lua	72
5.2	Upvalues Lua [IFC05]	73